

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka/Korjausrakentaminen ja rakennusrestaurointi

Antti Rautanen

POHJANVAHVISTUSMENETELMÄT JA PERUSTAMINEN PEHMEIKKÖ-  
TONTEILLE

Opinnäytetyö 2012

# TIIVISTELMÄ

## KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

### Rakennustekniikka

RAUTENEN, ANTTI

Pohjanvahvistusmenetelmät ja perustaminen pehmeikö  
tonteille

Opinnäytetyö

37 sivua

Työn ohjaaja

lehtori Juha Karvonen

Toimeksiantaja

Rakennustoimisto Rasto oy

Huhtikuu 2012

Avainsanat

pohjatutkimus, pohjanvahvistaminen, maaperä, perustami-  
nen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on esittää eri pohjatutkimusmenetelmiä, pohjanvahvistamiseen liittyviä eri vaihtoehtoja sekä perustamiseen liittyviä asioita, kun kysymyksessä on perustaminen pehmeikölle. Esimerkkikohteena työssä on kerrostalo, joka on perustettu erittäin vaativiin pohjaolosuhteisiin. Kerron, mitä pohjatutkimuksia kohteessa on suoritettu ja minkälaisiin ratkaisuihin päädyttiin niiden ansiosta.

Tavoitteenani oli luoda yleiskatsaus pohjarakentamisesta rakentajille ja tutkia maanrakentamiseen liittyviä asioita. Opinnäytetyönlähde materiaali koostuu internetistä otetuista artikkeleista, kirjallisuudesta sekä esimerkkikohteestani saaduista pohjatutkimusraportista. Lisäksi olen keskustellut eri asiantuntijoiden kanssa kyseisestä aiheesta, mistä olen saanut myös vaikutteita työhöni.

Tutkimustulokset osoittavat, että tulevaisuudessa pohjarakentaminen huonolle maaperälle yleistyy nopeasti, koska suurin osa rakentamiseen suoraan kelpaavasta maaperästä on jo käytetty. Tämän takia on hyvin tärkeää pystyä käyttämään myös pehmeikköjä rakentamiseen. Pitää pystyä myös valitsemaan oikea ratkaisu, mikä riippuu käytössä olevasta ajasta, alueen pohjasuhteista, alueen käyttötarkoituksesta ja alueelle tulevasta kuormituksesta sekä kustannuksista.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Construction Engineering

RAUTANEN, ANTTI

Foundation Reinforcement Methods and Founding on Soft-soil sites

Bachelor's Thesis

37 pages

Supervisor

Juha Karvonen, Senior Lecturer

Commissioned by

Rakennustoimisto Rasto Oy

April 2012

Keywords

ground investigation, foundation reinforcement, soil, founding

The purpose of this bachelor's thesis is to explain site investigation methods and various alternatives for the reinforcement of foundations. Also, the paper discusses issues related to founding on soft soils. The subject building is an apartment house which was founded in demanding ground conditions. About the above-mentioned target I tell which ground investigations were carried out and what kind of solutions have led to the result of it.

The aim of this work was to create a wide-ranging general overview of foundation engineering for builders and to study issues related to civil engineering.

The literature consists of articles and manuals on the Internet and the ground investigation reports on the subject building which were made available to the author of this paper by the commissioner of this work. In addition to this, I discussed with experts, who gave me valuable information.

The study results show that in the future foundation construction on poor soil will become more common because the most construction suitable soil is used. Due to this, it is very important that we can use soft subsoils for building. We also have to choose the right solutions, which depend on the time that we can use, base ratio of the area the use, the subsoil conditions of the site, the purpose of the use of the site, the future loading of the site and costs.

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

1 JOHDANTO	6
2 POHJATUTKIMUKSET	7
2.1 Pohjatutkimusten tarve ja tavoitteet	7
2.2 Tutkimusmenetelmät	7
2.2.1 Maastokatselmus	7
2.2.2 Koekuoppa	8
2.2.3 Kairaukset	8
2.2.4 Kairausmenetelmien käyttökelpoisuus	9
2.3 Näytteenotto	11
2.4 Laboratoriotutkimukset	11
2.5 Pohjatutkimusraportti	12
3 POHJANVAHVISTUSMENETELMIÄ	12
3.1 Pohjanvahvistus yleisesti	12
3.2 Syvätiivistys	13
3.3 Stabilointi	14
3.3.1 Pilaristabilointi	14
3.3.2 Massastabilointi	15
3.3.3 Maan jäädytys	16
3.4 Suihkupaalutus	17
3.5 Maainjektointi	18
3.6 Eri maanlujittamis tapoja	19
3.6.1 Geovahvisteverkko	19
3.6.2 Esimerkkikohde Hietasen autokenttä Kotka	19
3.6.3 Geotekstiilit	20
3.6.4 Maamassojen vaihto	22

3.7	Esikonsolidointi	23
3.8	Pilaantuneen maaperän kunnostus	23
4	PERUSTAMISTAVAT	24
4.1	yleistä	24
4.2	Paalujen ryhmittely toimintaperiaatteen mukaan	26
4.3	Paalun staattinen toiminta	26
4.3.1	Tukipaalu	26
4.3.2	Kitkapaalu	27
4.3.3	Koheesiopaalu ja välimuotopaalu	27
4.4	Paaluvaihtoehdot	28
4.4.1	Teräsbetoni paalu	28
4.4.2	Teräspaalut	28
4.5	Kalusto- ja materiaalivaatimukset	28
5	ESIMERKKIKOHDE AS OY HELSINGIN TOUKOLAN KUSTAA	29
5.1	Pohjatutkimukset	29
5.2	Maakerrokset	29
5.3	Pohjarakennesuositus ja perustaminen	30
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO	33
7	LÄHTEET	34

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Rakennustoimisto Rasto oy Kouvolasta. Opinnäytetyön idea syntyi kesällä 2011 työskennellessäni kyseisessä yrityksessä. Pää tavoitteina tutkimuksessa on kertoa, millaisia pohjatutkimuksia pystytään suorittamaan nykyisin käytössä olevilla menetelmillä, ja mitä vaihtoehtoa kannattaa milloinkin käyttää pohjanvahvistamisessa sekä esittää pehmeiköille perustettaessa vaihtoehtoisia perustamistapoja. Lisäksi tulen kertomaan esimerkki kohteestani ja siinä käytetyistä perustamiskorjauksista. Kohde on Helsingissä sijaitseva kerrostalo.

Lopputyössä on tarkoitus käyttää hyväksi kirjallisuutta ja internetin sivustoja, mistä tutkimus kootaan. Lisäksi työssä on saatu pohjatutkimus- ja pohjarakennesuositusraportit käyttöön, mikä käsittelee edellä mainittua esimerkkikohteetani Helsingissä.

Nykyisin monissa Suomen kaupungeissa perustamisolosuhteiltaan hyvät tonttimaat on jo käytetty loppuun, siksi on tulevaisuudessa turvaututtava perustamaan uusia rakennuksia huonopohjaisille tonteille, joten aihe tulee siten olemaan varsin usein esillä oleva tulevana vuosikymmeninä suomalaisessa rakentamisessa. Tehokkaalla esirakentamisen suunnittelulla voidaan nopeuttaa rakentamista ja hyvällä suunnitelmalla voidaan helposti parantaa pehmeikkö alueiden laatua ennen varsinaisen rakentamisen aloitusta. Esimerkiksi Helsingin alueella esirakentamista on ruvettu käyttämään 1980-luvun alusta ja nykyisin se kuuluu keskeisesti Helsingin kaupungin suorittamaan geotekniseen toimintaan. Merkittäviä kohteita Helsingissä, missä on suoritettu esirakentamista, on pikkuhuopalahti, Mellunmäen keskus ja Kurkimäki. Tällä hetkellä esirakentamista käytetään vanhoilla satamakäytöstä poistuneilla alueilla, jonne tulee uusia asunalueita.

Esimerkkikohteen avulla havainnollistetaan teoriassa käsiteltyjä asioita. Työssä kerrotaan Tarkasti, minkälaisia pohjatutkimuksia kyseisellä tontilla on suoritettu ja minkälaisiin rakennuskorjauksiin on sen ansiosta päädytty. Opinnäytetyön kuvalähteet on ilmoitettu lähdeluettelossa.

## 2 POHJATUTKIMUKSET

### 2.1 Pohjatutkimusten tarve ja tavoitteet

Yleisesti ottaen pohjatutkimuksilla tarkoitetaan maa- ja kallioperän tutkimuksia, millä pyritään saamaan selville maa- ja kallioperän rakennetta ja ominaisuuksia. Pohjatutkimuksia tarvitaan eniten erilaisten rakennushankkeiden geoteknistä suunnittelua varten. Pohjatutkimusten laajuus määräytyy sen mukaan, minkälainen on pohjan laatu, minkälaisia kuormituksia pohjaan kohdistuu ja millaisia siihen tulee rakenteista. Pohjatutkimuksen perusteella on voitava todeta rakennuspaikan soveltuvuus tarkoitukseensa, on pystyttävä suunnittelemaan rakennukselle tai rakenteelle riittävän varma ja samalla taloudellinen perustus, valittava oikeanlaiset työtavat niin, että pohjarakentaminen voidaan suorittaa turvallisesti, taloudellisesti sekä ympäristölle vahinkoa tuottamatta ja ennakoitava pohjanrakentamisessa odotettavissa olevat ongelmat. Pohjatutkimus antaa tietoa siitä, minkälainen on maaperän kerrosjärjestys, kerrospaksuus ja kerrosten ominaisuudet. Pystytään myös selvittämään kalliopinnan asema sekä kallion rakenne ja pohjavesisuhteet. Rakentamismääräyskokoelmassa on todettu, että jokaisella alueella ennen rakentamisen aloittamista on suoritettava pohjatutkimukset. Rakentamismääräyskokoelmassa on myös ilmoitettu hyväksytyt tutkimusmenetelmät. [1,257.] [14.]

### 2.2 Tutkimusmenetelmät

#### 2.2.1 Maastokatselmus

Ennen kuin aletaan suorittaa varsinaisia pohjatutkimuksia, on yleensä aiheellista suorittaa silmänvaraisiin havaintoihin perustuva maastotarkastelu, minkä jälkeen päätehtään myöhemmin suoritettavan pohjatutkimuksen laajuus ja laatu. Maastokatselmuksessa tärkeää on huomioida alueen pinnanmuodot, kasvipeite, kalliopaljastumat ja pintakivisyys. Edellä mainittujen havaintojen ja käytettävissä olevien geologisten karttojen tai ilmakuvaukset avulla pyritään tekemään päätelmiä alueen maanperämuodostumista sekä rakenteesta. Maan laadun toteamiseksi voidaan maastokatselmuksessa kaivaa koekuoppia kasvukerroksen alle. Jos kysymyksessä ovat hienorakeiset maala-  
jit, maastokatselmusta voidaan täydentää tunnusteluin, joita yleensä suoritetaan ohuella, 1...2 m:n syvyyteen ulottuvalla terästangolla. [1,257.]

### 2.2.2 Koekuoppa

Koekuopan kaivaminen on luotettavin tapa, kun tutkitaan lähellä maanpintaa olevia maakerroksia. Koekuopan kaivamisen aikana ja kaivamisen jälkeen voidaan tehdä monipuolisia havaintoja kuopan kaivussyvyyttä vastaavista maakerroksista. Koekuopan tarkoitus on toimia eräänlaisena koekaivantona, jonka kaivu antaa havaintoja ja viitteitä mahdollisia pohjarakennustöitä varten. [1,258.]

Koekuopasta saatavia havaintoja ovat muun muassa erilaiset maakerrokset ja niissä olevat maalajit. Saadaan myös selville maan kivisyys, lohkaraisuus sekä maan kaivu ominaisuudet. Muita saatavia tietoja ovat pohjaveden korkeustaso ja kalliopinnan taso ja sen kaltevuus. [1,258.]

Koekuopasta voidaan ottaa myös näytteitä tarkempia tutkimuksia varten. Tukemattomana koekuoppa voidaan kaivaa noin 2...3 metrin syvyyteen pohjaveden pinnan yläpuolelle, mutta tuettuna se voidaan ulottaa syvemmällekin. Koekuopan kaivaminen on hyvin tärkeä pohjatutkimusmenetelmä kivisissä ja kairauksilta vaikeasti läpäistävissä pintakerroksissa. Tämän kaltaisissa olosuhteissa pohjatutkimusta voi jatkaa koekuopan pohjalta tehtävillä tutkimuksilla. [1,258.]

### 2.2.3 Kairaukset

Kun pohjatutkimuksia suoritetaan erilaisten kairausmenetelmien avulla, maaperään tungetaan kairatangon tai -putken avulla kairan kärkikappaletta. Kairauksia tehtäessä ensisijainen havainnoinnin kohde on kairan kärkikappaleeseen kohdistuva kairausvasutus, minkä vaihtelusta voidaan tehdä päätelmiä maakerrosten laadusta, tiiviyydestä, lujuudesta ja kantavuudesta. Eri kairausmenetelmät eroavat toisistaan erityisesti kairojen rakenteesta ja maahantunkeutumismenetelmissä. [1,258.]

On olemassa kolme eri kairausmenetelmää, jotka ovat staattinen, dynaaminen tai edellä mainittujen yhdistelmä. Staattista menetelmää käytettäessä kaira tungetaan maahan painojen tai hydraulisen puristimen kuormittamana. Dynaamisissa menetelmissä kairan maahantunkeminen toteutetaan täryttämällä tai iskemällä. Suomessa käytetään monia eri kairaustapoja, kuten painokairausta, lyöntikairausta, tärykairausta, heijarikairausta, puristinkairausta, putkikairausta, porakonekairausta, sydännäytekairausta, siipikairausta. [1,259-271.]





Kuva1. Porakonekairauksen suorittaminen (Road consulting internet-sivut 2012.)

#### 2.2.4 Kairausmenetelmien käyttökelpoisuus

Erilaisten kairausmenetelmien käyttökelpoisuus valitaan aina kohteen mukaan. esimerkiksi syvällä olevan kalliopinnan selvittämiseen tarvitaan raskasta kairauskalustoa eli porakonekairausta ja jopa sydännäytekairausta. Tutkimuksissa, jotka koskevat maaperän rakennetta sopivimpia kairausmenetelmiä ovat ne menetelmät, missä yksiselitteisen kairausvastuksen ohella kyetään tekemään mahdollisimman paljon muita tutkimushavaintoja. Yleensä yhdellä kairausmenetelmällä saatua tulosta pidetään vain osaselvityksenä ja tulos on varmistettava jollakin muulla kairausmenetelmällä tai varsin usein maanäyteotolla. [1,271-272.]

Karkearakeisten maalajien ja moreenien tiiviys-, lujuus- ja kokoonpuristuvuus ominaisuuksia sekä niihin liittyviä parametriarvoja voidaan arvioida kairausvastustietojen perusteella, kun lisäksi tiedetään maakerroksen maalaji. Hienorakeisten maalajien suljettu leikkauslujuus määritetään usein siipikairauksilla. Hienorakeisten maalajien lujuus- ja kokoonpuristuvuusominaisuuksia kuvaavien parametrien määrittäminen edellyttää yleensä maaperästä otettuja häiriintymättömiä näytteitä ja niiden analysointia laboratoriossa. Pohjatutkimustulosten laatuun, luotettavuuteen ja käyttökelpoisuuteen paljon vaikuttavia tekijöitä on kenttätutkimushenkilöstön kokemus sekä ammattitaito. [1;271]



Kuva2. Monotoimikaira (Kolumbus internet-sivut 2012)



Kuva3. Siipikaira (Kolumbus internet-sivut 2012)

### 2.3 Näytteenotto

Yleensä kairauksilla saadaan riittävän luotettavasti selville maaperän kerrosrajat, mutta tiedot maakerroksien maalajeista pelkästään kairaustuloksiin perustuvina ovat usein epävarmoja ja puutteellisia. Tämän takia tutkittavista maakerroksista on myös otettava näytteitä, maassa olevien kerrosten tarkempaa selvitystä varten. Näytteidenotto onkin tärkeydeltään vähintään kairauksiin verrattava pohjatutkimusmenetelmä. Tavoitteen mukaan maanäytteitä otetaan häiriintyneinä tai häiriintymättöminä. [1,274.]

Häiriintyneissä näytteissä maalajin sisäinen rakenne on särkynyt, mutta maalajien sisältämät ainesosat ovat alkuperäisessä suhteessa tallella. Häiriintyneistä näytteistä voidaan selvittää maalajien rakeisuus ja humuspitoisuus sekä pohjaveden pinnan yläpuolella olevista näytteistä lisäksi vesipitoisuus. [1,274.]

Häiriintymättömänä näytteen, voidaan katsoa edustavan luonnontilaista maata, jossa maalaji on säilynyt ehyenä. Häiriintymättömissä näytteissä on kuitenkin maan jännitystila muuttunut, minkä vuoksi laboratoriokokeissa saatavat maalajiominaisuudet saattavat olla virheellisiä. [1,274.]

Joskus voi käydä myös siten, että maasta saadaan näytteenotossa vain epätäydellisiä näytteitä, jolloin näyte sisältää aineksia useammasta maakerroksesta tai maanäytteestä on huuhtoutunut joitakin lajitteita pois. Tämän kaltaisia näytteitä saadaan muun muassa porakone- ja sydännäytekairauksen ilma- tai vesihuuhtelun yhteydessä. Näissä näytteissä rakeisuusmäärittyskään ei anna oikeanlaista kuvaa maalajista ja tällaisista näytteistä saadaankin vain viitteellistä tietoa. Lohkareisesta ja kivisestä maalajista otetut näytteet ovat myös periaatteessa epätäydellisiä näytteitä, mutta niitä ei käytännössä kuitenkaan lueta tähän ryhmään. [1,274.]

### 2.4 Laboratoriotutkimukset

Yleensä pohjatutkimuksissa saatavat näytteet on tutkittava laboratoriossa, ellei sitten tyydytä pelkästään silmänvaraisiin havaintoihin, kun selvitetään maalajimäärittystä. Häiriintyneistä näytteistä tutkitaan lähinnä rakeisuutta humuspitoisuutta ja vesipitoisuutta. Humuspitoisuus tutkitaan vain jos se katsotaan ilmeisen tarpeelliseksi ja vesi-

pitoisuus silloin, kun sillä on merkitystä ja näytettä voidaan pitää tässä suhteessa luotettavana. Pohjavedenpinnan alapuolelta otettujen häiriintyneitten näytteiden vesipitoisuus muuttuu näytteenotossa ratkaisevasti, joten se ei aina anna luotettavaa kuvaa. Jos näyte saadaan otettua häiriintymättömänä, niin silloin on mahdollista tutkia edellä mainittujen asioiden lisäksi myös tilavuuspaino sekä irtotiheys luonnontilaisena, leikkauslujuusominaisuudet ja kokoonpuristumisominaisuudet. Viimeksi mainittuja ominaisuuksia tutkitaan kulloisenkin pohjatutkimustarpeen mukaan. Näistä tutkimuksista saadaan hyvin pitkälle meneviä johtopäätöksiä maakerrosten käyttäytymisestä erilaisissa rakennustapauksissa. Ympäristötekniset tutkimukset pitää myös suorittaa pohjatutkimuksen yhteydessä tai erillisenä tutkimuksena, mikäli on aihetta epäillä tontin maaperän tai pohjaveden sisältävän haitta-aineita. Tutkimukset suoritetaan maanäytelaboratoriossa. [1,280.]

## 2.5 Pohjatutkimusraportti

Pohjatutkimusraportti sisältää pohjatutkimusohjelman ja pohjatutkimusten työraportit, mitkä kattavat kenttä- ja laboratoriotutkimustulokset sekä mittauksen ja tutkimustulosten arvioinnin. pohjatutkimuksessa saatujen tulosten ja raportin perusteella geosuunnittelija laatii arvion pohjatutkimusohjelman tavoitteiden saavuttamisesta ja arvioi myös tulosten riittävyyden ja kattavuuden. Jos tulosten perusteella suunnittelua ei voida tehdä suunnitteluvaiheen edellyttämälle tasolle, niin silloin geosuunnittelija vaatii täydentävien tutkimusten suorittamista. Pohjatutkimusten valmistuttua pohjatutkimuskonsultin tulee laatia pohjatutkimustöiden työraportti ja varmistaa, että kolmansille osapuolille syntyneiden vahinkojen korvaus ja muut velvoitteet on hoidettu. [15.]

## 3 POHJANVAHVISTUSMENETELMIÄ

### 3.1 Pohjanvahvistus yleisesti

Pohjanvahvistus käsittää suuren joukon eri periaatteilla toimivia menetelmiä, joiden tarkoitus on parantaa maan geoteknisiä ominaisuuksia, kuten lisäämään lujuutta ja vähentämään kokoonpuristuvuutta ja vähentämään tai lisäämään vedenläpäisevyyttä. Vahvistettua maapohjaa käsitellään geoteknisessä mitoituksessa maana. [17.]



### 3.2 Syvätiivistys

Syvätiivistysmenetelmiin lasketaan pudotustiivistys, tiivistyspaalutus ja täryhuuhtelu, mikä on kuitenkin varsin harvoin käytetty menetelmä. Pudotustiivistys perustuu mekaanisen iskuenergian käyttöön, mikä kuuluu syvätiivistysmenetelmiin. Kyseessä olevassa menetelmässä kone nostaa 80...2000 kN:n järkäleen tietylle korkeudelle maanpinnasta ja tämän jälkeen järkäleen annetaan pudota vapaasti pudotustiivistyssuunnitelman mukaisesti. Pudotustiivistyksessä vaikutus ulottuu 10..30 metrin syvyyteen riippuen järkäleen koosta tai pudotuskorkeudesta. Pudotustiivistystä käytetään sora-, louhe-, hiekka ja silttikerrosten tiivistämiseen. Suomessa menetelmää on käytetty muun muassa Vuosaarella ja Salmisaarella. [2,36.]



Kuva4. Pudotustiivistyksen suorittaminen (Kymen nostokone internet-sivut 2012.)

Toinen käytössä oleva syvätiivistysmenetelmä on tiivistyspaalutus. Tiivistyspaalutuksessa on kysymys maahan lyötävien usein kartiomaisten paalujen maata syrjäyttävästä ja siten ympäröiviä maakerroksia tiivistävästä vaikutuksesta. Tiivistyspaalutuksessa käytetään paaluja joiden pituus on 1,5...6 m. Paaluja lyödään maahan 0.5...1 m;m välein, sitten ne vedetään ylös ja syntyneisiin reikiin juntataan hiekkaa tai soraa. Tiivistyspaalutusta käytetään yleensä paksujen ja löyhien kitkamaakerrosten tiivistämisessä. [2,37.]

Kolmas syvätiivistysmenetelmä on täryhuuhtelu. Täryhuuhtelussa maapohjaa tiivistetään suurella sauvatäryttimellä, mikä upotetaan maahan täryttimen oman painon, vesihuuhtelun ja tärytyksen avulla. Kitkamaalajeissa täryhuuhtelu toteutetaan niin sanotusti tärytiivistyksenä, kun taas koheesiomaalajeissa täryhuuhtelu toteutetaan tärytätönä. Tärytiivistyksessä täryttimen annetaan vajota maahan sen oman painon ja tärytyksen vaikutuksesta. Kun tarvittava syvyys on saavutettu, täytetään syntynyt reikä sora- tai hiekkatäytteellä ja samanaikaisesti säädellään huuhteluveden virtausta ja nostetaan ja lasketaan tärytintä halutun tiiveyden saavuttamiseksi. Tärytiivistystä käytetään enimmäkseen hiekkamaahan. Tärytätty sen sijaan merkitsee kivi- tai sorapilarien tekemistä täryhuuhtelulaitteella, joko vesihuuhtelulla tai laitteella aikaansaataavaa ylipainetta käyttäen. Kuivanapitosyistä kooheesiomaahan tehtävän reiän huuhtelussa syntynyt liete pitää pumpata pois työalueelta. Syntynyt reikä täytetään pätkittäin soralla, kivillä tai murskeella tärytintä samalla pystysuunnassa liikuttaen. Tärytätön seurauksena syntyy läpimitaltaan 0,6...1,1 m:n sorapilari. [2,37-38.]

### 3.3 Stabilointi

Stabilointi on yksi pohjanvahvistusmenetelmistä, jota käytetään pehmeiden maakerrosten lujittamiseen. Stabiloinnin tarkoituksena on parantaa maaperän lujuutta ja vähentää maaperään syntyviä painumia. Lopputulos saavutetaan sekoittamalla sopiva määrä sidosainetta maa-aineksen kanssa. Sidosaineena käytetään useimmiten kalkkia tai sementtiä tai niiden seosta. Ennen stabiloinnin suunnittelua tehdään kaivauksesta otetuilla näytteillä niin sanottu stabilointitutkimus, siitä saadaan selville, mitä sidosaineita tässä kohteessa kannattaa käyttää ja kuinka monta kilogrammaa kuutiometriä kohti sidosainetta on käytettävä. [3.]

#### 3.3.1 Pilaristabilointi

Pilaristabilointimenetelmässä on kyse pehmeiden maakerrosten pohjanvahvistusmenetelmästä, jossa maahan työnnetyn sekoittimen avulla sekoitetaan sideaine maaperään niin, että maahan syntyy lujittuneita sylinterimäisiä pilareita. Maaperässä oleva suuri humuspitoisuus sekä saven suuri rikki- ja saven pitoisuus voivat estää maan lujittumisen. Suomessa syvästabiloinnissa sideaine syötetään maahan jauhemaisena ilmanpaineen avulla. Muualla maailmassa on myös kokeiltu märkämenetelmää. Pilarikokoja on olemassa halkaisijaltaan 500...800 mm, joista yleisin on 600 mm. Suomessa käytössä olevilla laitteilla päästään noin 15...25 m:n syvyyteen. Viime vuosina stabilointi on ollut

voimakkaassa kasvussa. Pilaristabilointia käytetään yleisesti katujen ja kunnallistekniikan pohjanvahvistusmenetelmänä, mutta nykyisin sitä käytetään myös tonttialueilla. [2, 32-33.]

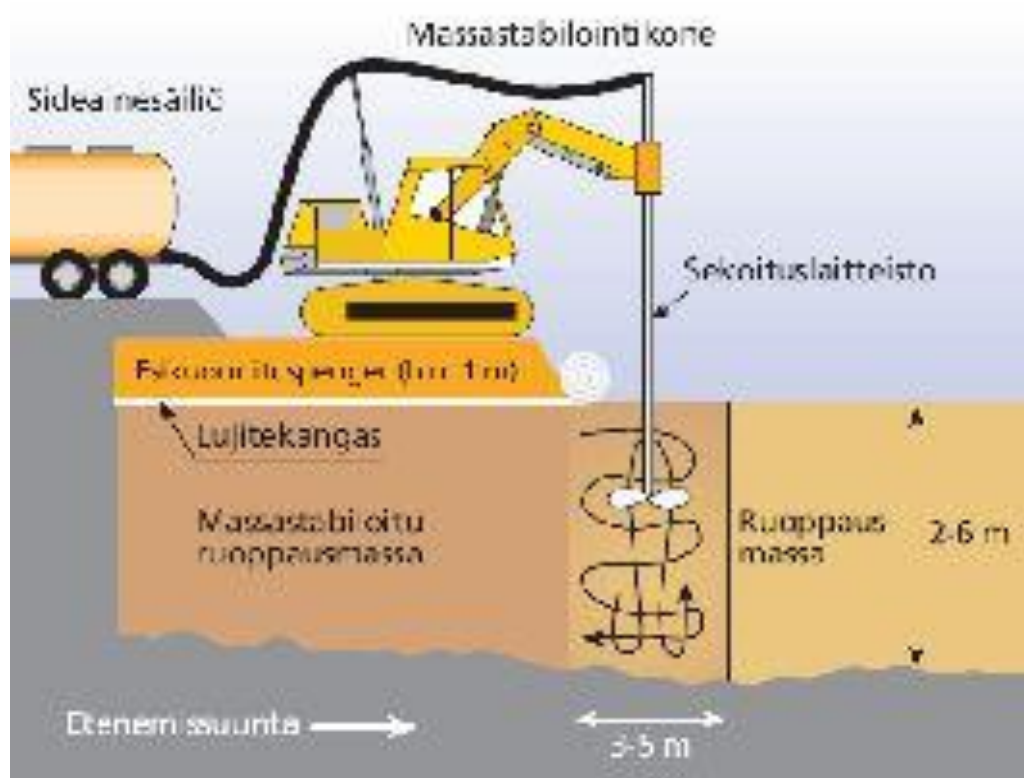


Kuva5. Tolsan liittymän stabilointi (rppoy internet-sivut 2012.)

### 3.3.2 Massastabilointi

Massastabilointi perustuu maakerrosten muokkaamiseen siten, että sideaine sekoitetaan maamassaan ja siitä syntyy homogeeninen seos. Sideaineella on massastabiloinnissa erittäin suuri merkitys, kun stabiloidaan eloperäistä pohjamaata. Useimmiten massastabiloidut kohteet ovat lieju- tai turvekerroksia, jonka alapuolinen osa syvästabiloidaan. Massastabiloinnissa kalustona käytetään kaivinkonetta, mihin on kiinnitetty sekoituslaitteisto. Tätä menetelmää käytetään, kun stabilointi korvaa massanvaihdon. Tällä menetelmällä päästään 5 m:n syvyyteen. Massastabilointi on vaihtoehto maan-

vaihdolle, varsinkin sellaisilla alueilla, missä korvaavia maa-aineksia on vaikea saada.  
[2,33.]



Kuva6. Paikalla tehtävä massastabilointi (Tekniikkatalous internet-sivut 2012.)

### 3.3.3 Maan jäädytys

Maanjäädytystä kutsutaan termiseksi stabiloinniksi, millä vetelän tai juoksevan maan puristuslujuus saadaan kasvamaan jopa  $3...10\text{MN/m}^2$ :iin. Jäädytyksessä maahan upotetaan halkaisijaltaan 100...200 mm:n putkia, joihin asennetaan jäähdytysnesteelle kiertoputket. Jäähdytysnesteinä käytetään  $-15...-25$  asteeseen jäähdytettyä magnesium- tai kalsiumkloridia sekä nestemäistä tyyppiä. Maa alkaa jäätyä putkien ympäriltä ja tavoitteena on se, että maahan jäätyy yhtenäinen jäätynyt vyöhyke. Maan jäädyttämisestä seuraa routimisilmiöitä, joiden vaikutusta pyritään vähentämään nopealla alkujäädytyksellä. Maan jäädyttäminen tulee kysymykseen vain suurissa rakennushankkeissa ja yksinomaan työnaikaisena varmistustoimenpiteenä mahdollistaen itse rakentamisen. Suomessa kyseistä menetelmää on käytetty muun muassa Helsingin metro-tunnelin rakentamisen yhteydessä ja niin sanotun Kluuvin ruhjevyyhykkeen alueella.  
[2, 34-35.]



### 3.4 Suihkupaalutus

Suihkupaalutusta eli suihkuinjektointia voidaan käyttää muun muassa tiivistys- ja tukiseinien tekemiseen. Menetelmää on myös käytetty paalujen korvaamiseen vanhan perustuksen alla ja erilaisiin tiivistys- ja lujitusrakenteisiin vaativissa olosuhteissa. Kyseessä olevassa menetelmässä maahan porattuun reikään suihkutetaan korkealla paineella veden ja sementin seosta, suspensiota. Samalla poraustankoa kierretään ylöspäin, jolloin maahan muodostuu betonipilari. Maahan muodostuneen pilarin halkaisija on yleisesti 0,5-2,0 metriä, minkä yksiaksaalinen puristuslujuus vaihtelee maa-lajeittain  $5\text{MN/m}^2$ :n molemmin puolin. [4.]

Peab infra oy rakentaa Länsimetron Tapiolan Urheilupuiston asemakaivantoa. Kyseisessä kohteessa suihkupaalutuksella tehdään vesitiivis seinämä teräspontin ja peruskallion maa-ainekselle koko kaivannon ulkoreunalla maanpinnalta 500 mm kallion sisään. Tiiviin suihkupaalutusseinän ideana on tiivistää kaivanto niin, ettei pohjaveden pinta pääse laskemaan, eli vettä ei pääse kaivantoon kaivuun edetessä, sekä vahvistaa pontin alapään ja peruskallion pinnan välistä maa-ainesta, ettei se sorru kaivantoon. [5.]



Kuva7. Esireikien poraamista suihkupaalutusta varten (Timanttilähde internet-sivut 2012.)

### 3.5 Maainjektointi

Maainjektoinnin tarkoituksena on tiivistää ja vahvistaa maakerroksia tai vesirakenteita. Injektoinnilla tarkoitetaan nestemäisen kovettuvan aineen, kuten uretaanin, sementin vesilasin tai epoksin pumppaamista maahan tai kallioon, minkä tarkoitus on lujittaa tai tiivistää kyseessä olevaa rakennetta. Injektoinnin avulla pystytään parantamaan maan lujuutta, rakenteiden käyttöikää ja varmuutta huomattavasti. Yleisimpiä käyttökohteita ovat muun muassa sillat, padot, kanavat ja erilaiset palkit ja pilarit sekä tunnelirakenteet. Injektoinnin avulla korjaus saadaan kohdennettua tarkasti haluttuun kohtaan. Usein korjauskohde voi olla käytössä korjauksesta huolimatta. Epoksiinjektointia käytetään betonirakenteisiin ja esimerkiksi koneperustuksiin, kun taas uretaani-injektointia käytetään maa- ja kalliorakenteisiin. Myös sementti-injektointia käytetään erilaisissa maa-injektioinneissa sekä kalliotiloissa, kuten tunneleissa. [6.]



Kuva8. Injektointia halkeilleen betonin paikkaamiseen (Imubetonilattiat internet-sivut 2012.)

### 3.6 Eri maanlujittamis tapoja

#### 3.6.1 Geovahvisteverkko

Geovahvisteverkkoja on käytetty maanrakentamisessa jo 1960-luvulta lähtien. Geovahvisteilla saadaan lisättyä maan kantavuutta tai parannettua rakenteen kantavuutta. Vahvisteet ottavat vastaan maahan syntyviä jännityksiä, siirtäen ja tasaten niitä suuremmalle alueelle. Vahvisteverkkojen käyttö on helppoa, niiden ansiosta saadaan teknistä ja taloudellista hyötyä. Lujiteverkkoja käytetään muun muassa seuraaviin käyttötarkoituksiin: kantavuuden parantamiseen pehmeiköllä, maapohjan lujittamiseen, jyrkkiin luiskiin, putkien perustuksiin, paalutusten yläpuolisiin perustuksiin, asfalttipäällysteen lujittamiseen ja lujitetukimuureihin. [7.]

#### 3.6.2 Esimerkkikohde Hietasen autokenttä Kotka

Hietasen satamassa rakennettiin yhteensä noin 50 hehtaaria tuontiautojen vastaanotto-kenttää vanhan imuruoppausmassojen läjitysalueen päälle. Ruoppausmassojen leikkauslujuus oli vain noin 1..2 kpa ja vesipitoisuus tutkimushetkellä 100..400. Rakennetuissa autokentissä käytettiin pohjanvahvistusmenetelmänä muun muassa geovahvisteita, koska liejupitoiset ruoppausmassat eivät olisi kestäneet päällysrakenteen ja kuormituksen aiheuttamia leikkausjännityksiä, geovahvisteiden tehtävä on ottaa vastaan leikkaus- ja veto jännityksiä ja samalla aikaansaada alueelle stabiliteetti. Mitoituksen tuloksena alueella valittiin käytettäväksi geoverkko GX35/35. Kentän elinkaaren aikana epätasaiset painumat aiheuttavat suuria lisäjännityksiä vahvisteisiin ja rakenteen heikoin kohta on rakennustyön aikana murskeella kiilaamalla tehdyt saumat. [18.]



Kuva10. Lujiteverkko (Viapipe internet-sivut 2012.)

### 3.6.3 Geotekstiilit

Suodatinkangasta käytetään maanrakennuskankaana, estämään erilaisten kerrosten sekoittuminen sekä lujittamaan maarakenteita. Käyttökohteina ovat muun muassa rakennuksen pohjat, tienpohjat, uimarannat, pysäköintipaikat ja salaojitukset. Koska suodatinkangas suodattaa veden lävitseen, siihen ei pääse muodostumaan vesipusseja. Maalajit säilyvät näin erillään toisista maalajeista. Maan liikkumattomuus pienentää routavaurioita, ja esimerkiksi pihalaatoitukset pysyvät paremmin paikoillaan. Suodatinkankaissa on eri käyttöluokkia, joihin ne jaetaan vahvuutensa perusteella. Esimerkiksi piharakentamisessa käyttöluokkia ovat N1 ja kl 2. Suodatinkankaan asennus on erittäin helppoa, eikä se vaadi erityistä kalustoa. [8.]





Kuva11. Suodatinkankaan asennus (Meltex internet-sivut 2012.)



Kuva12. Suodatinkankaan asennus tiepohjalle (Viapipe internet-sivut 2012.)

### 3.6.4 Maamassojen vaihto

Massanvaihdossa kaivamalla on kyse siitä, että pehmeät maakerrokset kuten savi, lieju ja turve kaivetaan pois määräsyvyyteen tai kovaan pohjaan saakka, minkä jälkeen tehdään uudet täytöt täyttömassoilla. Menetelmän käyttöä rajoittaa kaivannon syvyys. Yli neljämetriset kaivussyvyydet ovat harvinaisia. Menetelmää käytetään lyhyehköillä ja matalilla pehmeiköillä sekä matalilla soilla, missä on kova tai riittävän kantava pohja heti turpeen alla. Massanvaihtoa kaivamalla käytetään myös herkästi vaurioituvien rakenteiden läheisyydessä sekä paalutettujen alueiden päissä, missä on käytetty lyhyitä paalupituuksia. Jos massanvaihdos suoritetaan osittaisena, täytyy huomioida, että maanvaihdon vuoksi alapuolisen maan kuormitus kasvaa, ja maapohja alkaa painua. [2, 32.]

Osittainen massanvaihto voidaan yhdistää muihin esirakentamismenetelmiin. Silloin täyttömateriaalin valinnassa täytyy huomioida tulevat jatkotoimenpiteet. Esimerkiksi jos täytön läpi joudutaan paaluttamaan, täyttömateriaali on valittava paalutus huomioiden. Suuria massanvaihtokohteita Suomessa ovat olleet Mellunmäen pehmeikkö ja Kivikon alueen turvepehmeiköt, molemmat kohteet sijaitsevat Helsingissä. [2, 32.]

Massan vaihtoja tehdään myös pengertämällä. Kyseistä menetelmää käytetään silloin, kun pehmeikön syvyys on niin suuri, ettei massanvaihto onnistu kaivamalla. Korkeana päätypenkereenä etenevä täyttö puristaa sekä syrjäyttää pehmeät maakerrokset penkeen eteen ja sivulle. Pohjamaata voidaan kaivaa sekä ennen pengerrystä, että sen aikana. Pengertämisen aikana kaivetaan vastapainona eteen ja sivuille nousseita massoja. Painumista voidaan myös helpottaa räjäytyksin. Kyseessä olevalla menetelmällä on pohjatäyttöjen syvyydet olleet 4...13 m, ja syvin on ollut jopa 18m. Jotta syrjäyttäminen onnistuu niin, pohjamaan on oltava tarpeeksi pehmeää savea tai liejua. [2, 32.]



Kuva13. Massanvaihto tielle (Roadex internet-sivut 2012.)

### 3.7 Esikonsolidointi

Esikonsolidointi tarkoittaa maaperän konsolidaatiopainuman aikaan saamista ennen kuin varsinainen rakentaminen aloitetaan. Pohjanvahvistusmielessä on ensisijaisesti kysymys siitä, että lopullisten rakenteiden painumaa pyritään vähentämään. Nykyisin käytetään kahta päämenetelmää, jotka ovat ylikuormitus ja pystyjoitus. Ylikuormituksessa on kyse siitä, että maapohjaa kuormitetaan rajoitetun ajan kuormalla, mikä on suurempi kuin lopullisista rakenteista maapohjaan aiheutuva kuorma. Ylikuormituksessa on kuitenkin tärkeää, ettei ylitetä maan kantokykyä. Ylikuormitus toteutetaan siten, että esikonsolidoituvalla maapohjalle tehdään tilapäinen maapenger tai kiviainesten väliaikainen varastointi. Ylikuormituksen tulisi vaikuttaa tapauksesta riippuen 6 kuukaudesta 2 vuoteen. Pystyjoituksella tarkoitetaan vahvistettuun maakerrokseen tehtyä pystysuoraa salaojitusta. Menetelmä on erittäin käyttökelpoinen esimerkiksi paksun savikerrostuman esikonsolidoinnissa. Varsinaisen pystyjoituksen ja huokosveden poistumisen jatkeeksi tarvitaan vielä maanpinnalle tehty suodatinkerros. [16,134.]

### 3.8 Pilaantuneen maaperän kunnostus

Pilaantuneiden maamassojen kunnostukseen on olemassa monia eri vaihtoehtoja, kuten massojen kaivuu ja varastointi, jossa maamassat on kaivettava ja varastoitava siten, että jatkokäsittely voidaan toteuttaa tavoitteiden mukaisesti. On varmistettava, että käsiteltäviä massoja ei sekoiteta, että epäpuhtaudet eivät pääse leviämään ympäristöön ja että kaikki massat tulee poistettua kohteesta. Kunnostamatta jättäminen on yksi vaihtoehto, mutta silloin pitää varmistua, ettei ympäristölle aiheudu välitöntä riskiä.

Viime kädessä pilaantuneen maaperän kunnostustarpeen ja menetelmät valitaan konsulttien ja ympäristöviranomaisten toimesta. Työhön tarvitaan aina viranomaisten lupa. Kiinteistyksessä epäpuhtauksien liikkuvuutta rajataan sitomalla ne kiinteään matriisiin. menetelmän soveltuvuus on kuitenkin varmistettava esitutkimuksin ja sopivan sijoituskohteen ja – menetelmän valinnalla. Kemiallisessa stabiloinnissa epäpuhtaudet pyritään sitomaan kemiallisesti. Menetelmä tulee kysymykseen eristettynä sijoitettavalle maa-ainekselle, minkä haitta-ainepitoisuudet ovat hyvin pieniä. Eristys on menetelmä, jossa eristyksellä pyritään estämään haitta-aineiden leviäminen rakentamalla tiiviitä seinämiä tai kerroksia. Eristämistä voidaan myös käyttää erillisenä tai muiden kunnostusmenetelmien varmistamiseen. Märkäerotuksessa maa-aines jaetaan sijoituskelpoiseen, puhdistettuun jakeeseen ja epäpuhtaudet sisältävään puhdistusjäännökseen. [2,85.]

## 4 PERUSTAMISTAVAT

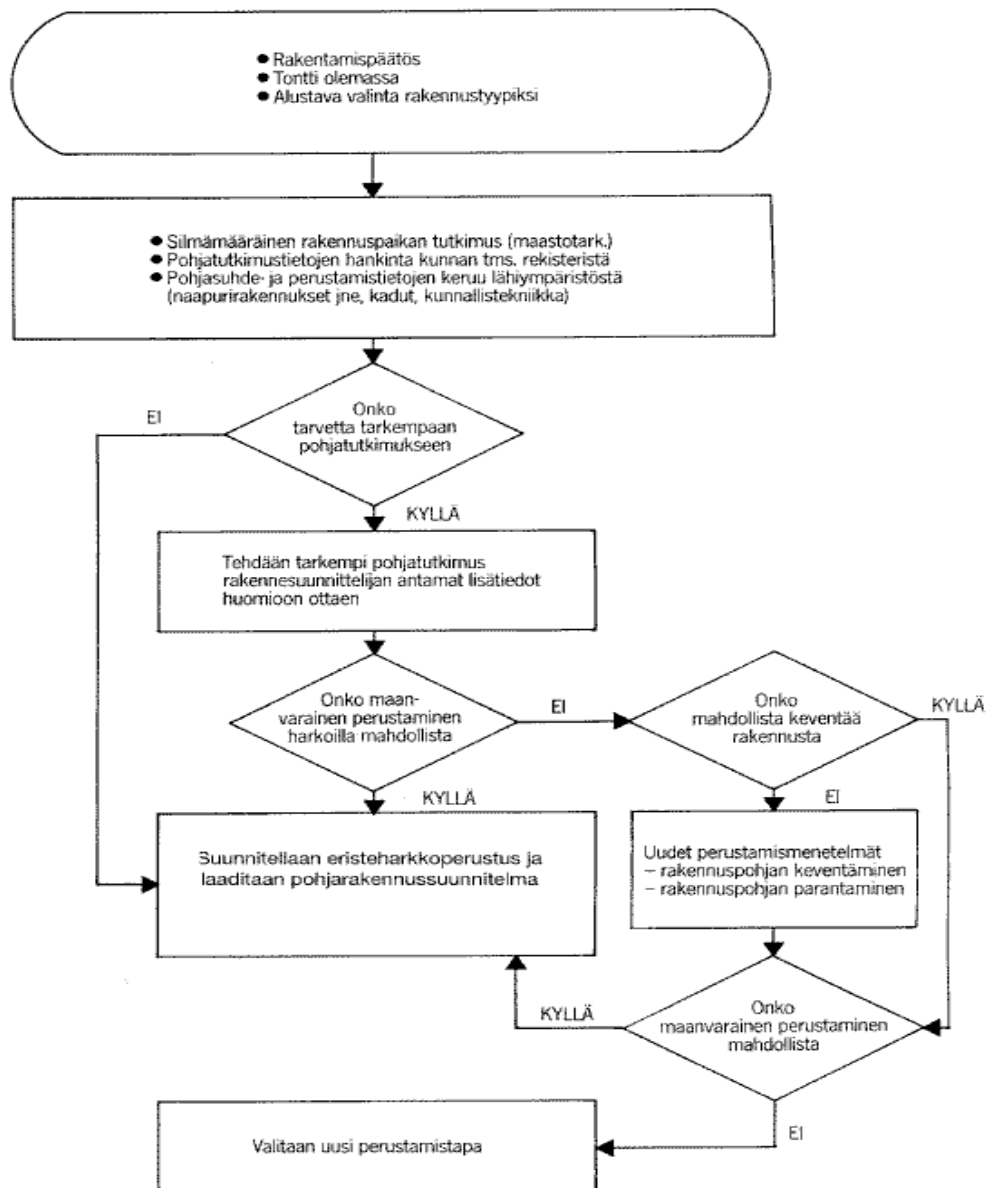
### 4.1 yleistä

Jos pohjanvahvistusmenetelmillä ei saada aikaiseksi riittävän kantavaa pohjaa perustuksille, tulee kysymykseen paaluttaminen. Paalu on rakentamisessa käytettävä kantava rakenne, jolla saadaan perustukset ja tienpenkereet tuettua. Kun paalu toimii kantavana rakenteena, se voi ottaa vastaan taivutus- ja puristusrasituksia, joskus myös vetoa. Paalut voidaan valmistaa betonista, puusta tai teräksestä. Betoni-paalujen yleisempiä käyttökohteita ovat teiden pengerpaalutus ja uusien talojen perustukset. Puupaaluja käytetään yleensä vain teiden pengerpaaluina, mikäli betonipaalua ei vaadita. Teräspaalujen käyttö kohdistuu suuriin silta rakennelmiin, pientalora-kentamiseen ja perustusten vahvistamiseen. [9.]

Jos pohjatutkimuksilla saadaan tietoon, että kantava maaperä sijaitsee yli viiden metrin syvyydessä, käytetään yleensä paaluperustusta. Kun paalu on saatu lyötyä kantavaan maahan tai kallioon asti, paalujen päälle valetaan paaluantura. Tämän jälkeen rakentamista jatketaan ihan samalla tavalla kuin maanvaraisissa anturaperustuksissa. [10.]



## PERUSTUSTEN SUUNNITTELU



Kuva14. Perustusten suunnittelu (Betoni internet-sivut)



Kuva15. Paalutus käynnissä kaupungin varikko Vantaa (Rakennusfuture internet-sivut 2012.)

## 4.2 Paalujen ryhmittely toimintaperiaatteen mukaan

Erilaisia paalutyyppejä ja paaluja on olemassa monenlaisia. Paalut voidaan jakaa erilaisiin ryhmiin monilla eri perusteilla, kuten paalujen toimintatavan, paalun valmistemateriaalin, vaikutukseen ympäröivään maahan, koon ja asennustavan mukaan. Kuitenkaan paalujen jaottelu yksiselitteisiin ryhmiin ei ole kovinkaan helppoa. On olemassa paljon toimintatavaltaan erilaisia paaluja, eri materiaaleista valmistettuja paaluja ja eri tavalla asennettavia paaluja käytetään myös rinnakkain. Sen vuoksi jako menee sekavaksi. Ehkä kaikkein selvin tapa jakaa paaluja on toimintatavan mukaan tukipaaluksi, kitkapaaluksi, koheesiopaaluksi ja välimuotopaaluksi. [11,1.]

## 4.3 Paalun staattinen toiminta

### 4.3.1 Tukipaalu

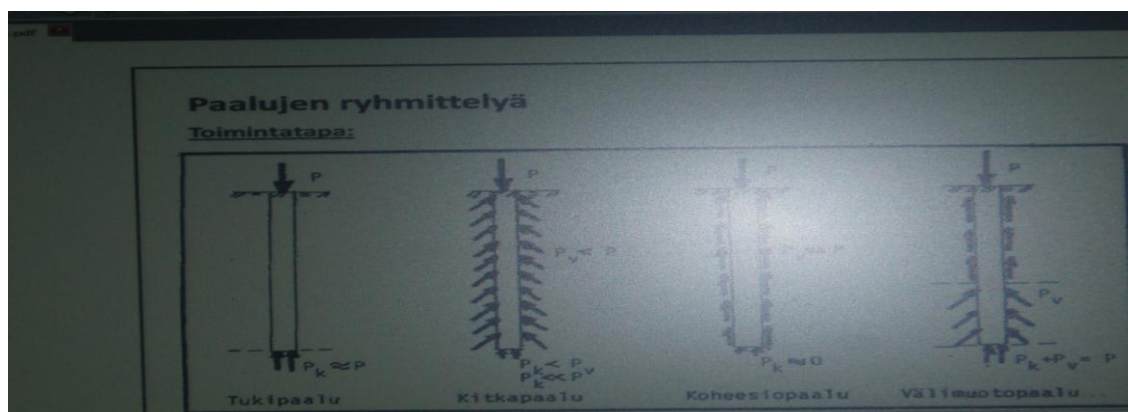
Tukipaalun toiminta periaate perustuu siihen, että se siirtää pääosan kuormasta kärjen välityksellä kantavaan pohjamaahan tai kallioon. Osa paaluille tulevasta kuormasta voi myös siirtyä ympäröivään maakerrokseen vaippakitkan avulla. Kun aletaan suunnitella paaluperustusta, on ensin selvitettävä tukipaalujen tekninen ja taloudellinen käyttömahdollisuus. [12,13.]

### 4.3.2 Kitkapaalu

Kitkapaalun toimintaperiaate on se, että se siirtää pääosan kuormasta vaippavastuksen välityksellä maakerroksille. Kitkapaalu on avoin kärjestä, ja sen toimintapa voidaan rajata kahteen eri tapaukseen. Ensimmäisessä tapauksessa kitkapaalu siirtää pääosan kuormasta sisä- ja ulkopuolisen vaippakitkan välityksellä sitä ympäröivään vaippakerrokseen. Loppu kuormasta siirtyy putken kärjen välityksellä. Toisessa tapauksessa kitkapaalu siirtää osan kuormasta ulkopinnan vaippakitkan avulla viereiseen maakerrokseen. Osa kuormasta siirtyy maatulpan välityksellä, joka muodostuu paalun alapäähän. Maatulppa syntyy paalun sisään muodostuneen maan ja sisäpuolisen vaippapinnan välisen kitkan vaikutuksesta. Kitkapaaluja käytetään yleisesti silloin, kun kalion tai tiiviin maakerroksen päällä oleva karkearakeinen maakerros tai moreenimaakerros on paksu. [12,14.]

### 4.3.3 Koheesiopaalu ja välimuotopaalu

Koheesiopaalun toiminta perustuu siihen, että paalu siirtää kuorman vaippapinnalle syntyvän adheesion vaikutuksesta. Koheesiopaalulla on hyvin pieni kärkivastus. Kun perustetaan koheesiopaaluille, rakenne usein painuu, koska paalut kuormittavat kokoonpuristuvia maakerroksia. Rakenteen käyttökelpoisuus määräytyykin täysin sen mukaan, miten suuret painumat sallitaan kyseessä olevalle rakenteelle. Pysyvissä rakenteissa koheesiopaaluja ei yleensä käytetä. Käyttö vaatisi paksun koheesiomaakerroksen. Välimuotopaalu on taas kaikkien edellä mainittujen paalutyyppeiden yhdistelmä. [12,15.]



Kuva16. Paalujen staattinen luokittelu (Juha Karvosen luentomoniste)

#### 4.4 Paaluvaihtoehdot

##### 4.4.1 Teräsbetoni paalu

Teräsbetonipaalutuksella saadaan aikaan painumaton ja vahva ratkaisu, joka kestää sukupolvelta toiselle. Teräsbetonipaalut omaavat suuren kantokyvyn, jolloin saadaan pienelläkin paalupistemäärällä varma ja painumaton perustus verrattuna muihin paalutusratkaisuihin. Teräsbetonipaaluja voidaan käyttää myös ns. kitkapaaluina, jolloin paalut lyödään määräsyvyyteen maaperälausunnon ja pohjatutkimuksen mukaan. [19]

##### 4.4.2 Teräspaalut

Teräspaalujen käyttö on lisääntynyt merkittävästi viime vuosina etenkin asunto ja toimitilarakentamisessa, missä on vaikeat pohjaolosuhteet ja rakenteet altistuvat suurille kuormille. Laajan tuotevalikoiman ansiosta on mahdollista valita oikean kokoiset paalut kaikkiin maaolosuhteisiin. Asentaminen voidaan suorittaa kevyellä asennuskalustolla, mikä säästää ympäristöä, ja alentaa kustannuksia sekä maankaivun tarvetta. [20]

#### 4.5 Kalusto- ja materiaaliveaattimukset

Paalutuskaluston pitää olla varusteiltaan ja rakenteiltaan sellainen, että paalu voidaan lyödä vaurioitumatta haluttuun paikkaan ja kaltevuuden kannalta riittävään syvyyteen ja tiukkuuteen. Lyöntikalusto jaetaan toimintatavan perusteella kolmeen pääryhmään. Hidaslukuiset juntat, joiden iskuluku on maksimissaan 60 iskua minuutissa. Toinen ryhmä on nopeaiskuiset juntat, joiden iskuluku on maksimissaan 100..300 iskua minuutissa. Kolmas ryhmä on täryjuntat, joiden värähdysluku on 1000...3000 värähdystä minuutissa. Kaikkein suurimman ryhmän muodostavat hidaslukuiset juntat, ja niistä yleisin on pudotusjärkäleellä varustettu paalutuskone. Peruskoneena yleensä käytetään kaivinkoneen runkoa, ja uudet koneet ovat yleensä täyshydraulisia. Teräsbetonisten paalujen rinnalla paalutuksessa on nykyään ruvettu myös käyttämään teräksisiä paaluja. [2,74.]



Kuva17. Paalutustyö käynnissä (Kantolan paalutus internet-sivut 2012).

## 5 ESIMERKKIKOHDE AS OY HELSINGIN TOUKOLAN KUSTAA

### 5.1 Pohjatutkimukset

Rakennuspaikalla Helsingissä oli suoritettu alueellisia pohjatutkimuksia eri aikoina. Tutkimukset ovat sisältäneet puristin-heijarikairauksia ja porakonekairauksia. Vanhat kairaukset vastasivat uusia kairauksia, mutta alueen rakentamisen vuoksi päällimmäiset kerrokset ovat voineet vaihtua täytemaaksi. Rakennusalueen ympärillä suoritettiin enimmäkseen porakonekairauksia, joilla selvitettiin täytteiden paksuuksia. Lisäksi rakennusalueen läheisyydessä oli suoritettu myös paino- ja puristin-heijarikairauksia. Täydentäviä tutkimuksia alueella teki vuonna 2010 Ramboll Finland Oy. Tutkimusten tavoitteena oli selvittää tarvittava paalupituus suunnitellun rakennuksen perustamistapa varten. Vuonna 2010 täydentävinä tutkimuksina suoritettiin puristin-heijarikairauksia, kairauspisteiden mittauksen ja pintavaalituksen. [13,2.]

### 5.2 Maakerrokset

Pohjasuhdekuvaus perustui uusiin ja vanhoihin pohjatutkimuksiin sekä kairausdiagrammien tulkintaan ja kairaajien havaintoihin maalajeista. Vanhoista kairauksista ei ilmennyt tarpeeksi hyvin olemassa olevien kairausten paksuudet, mikä oli huomiotava tulkinnoissa. Kairaushavaintojen perusteella saatiin selville, että koko alueella tavaataan täytemaata, jonka paksuus oli 1,2...3,8 metriä. Paksuin kerros täytemaata havaittiin tontin eteläpäädyssä. Täytemaakerroksen alla havaittiin savea, jonka kerrospaksuus vaihteli noin 13,3...14,4 m. Savikerrostumassa havaittiin myös olevan sulfi-

disavikerroksia, mikä täytyi ottaa huomioon rakenteissa, lähinnä paalujen rasitusluokassa. Joltakin osin täytteen alla esiintyi silttikerros. Savikerrostumien alla löydettiin siltti- / hiekkakerroksia. Alimmaisena kerroksena löydettiin hiekkaa, silttiä, soraa ja kiviä sisältävä pohjanmuodostuma. [13,3.]

Kairaukset ovat päättyneet lohkaraisiin, kiviin, kallioon, tiiviiseen maakerrokseen tai ne on lopetettu 18,2 metrin – 21,5 metrin syvyydelle maan pinnasta. Kalliopintaa ei varmistettu porakonekairauksin rakennusalueella, mutta välittömässä läheisyydessä kallionpinta sijaitsee tasolla -18,96. Tontin välittömässä läheisyydessä sijaitsee, tarkemmin tontin eteläpuolella tai tontin eteläosassa niin sanottu KTK-penger, joka on tehty, louheesta mereen täyttämällä. Tämän penkereen alle on jäänyt savea, mikä aiheuttaa hallitsemattomia penkereen painumia ja sivusiirtymiä. Alueen esirakentamisessa KTK- louhepengertä on poistettu tasolle -3,0 asti ja täytetty stabiloidulla turpeella tasolle + 1,5. Lisäksi tontin pohjoispuolella sijaitsee entisen Mertakadun penger, mitä on esirakentamisen yhteydessä poistettu tasolle -5,0 asti ja täytetty stabiloidulla savella. Kyseisellä tontilla maaperän on arvioitu olevan hyvin routivaa ja paikoin aggressiivista. Alueelle ei ole asennettu pohjavesiputkia, mutta meren sijainnin vuoksi voidaan pohjaveden arvioida noudattavan merivesipinnan tasoja määrättyllä aikavälillä. Rakennusalueella ei suoritettu laboratorio kokeita ollenkaan. [13,3.]

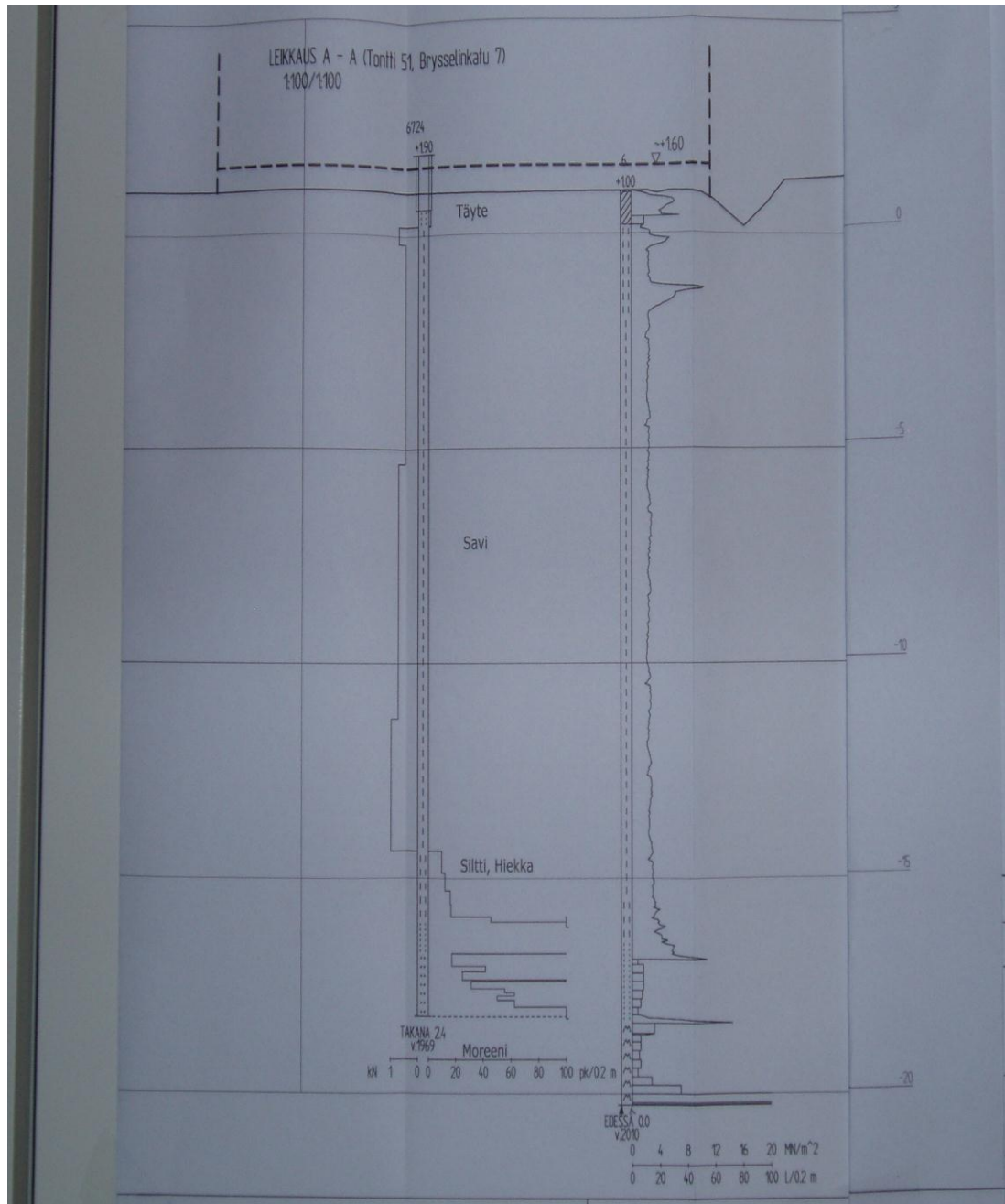
### 5.3 Pohjarakennesuositus ja perustaminen

Toukorannan pohjaolosuhteet todettiin perustamisen kannalta erittäin haastaviksi. Rakennuksen runko perustettiin paalutetuille anturaperustuksille. Paalut oli ulotettava kantavaan ja tiiviiseen pohjamoreeniin tai kallioon. Paksun louhetäytön vaikutuspiirissä ja KTK-penkereen alueella paalutus toteutettiin lyötävillä teräspalkkipaaluilla RR320/12,5. Teräslaatuina käytettiin terästä S440J2H. Paalutus suoritettiin paalutusluokan 1B:n mukaan. Paalujen laskettu kuorma on 1670 kN, missä oli otettu huomioon 4 mm:n korroosiovara ja negatiivinen vaippahankaus. Paalujen toimintatapa on kärkeä kantava tukipaalu. Paalutus suunniteltiin ja toteutettiin noudattaen suurpaalutusohjetta SPO RR270- ja RR320-paaluille. Paalujen kärjissä käytettiin rakenneteräskalliokärkiä. Paalut jatkettiin hitsaamalla ja yläpään asennettiin tyyppihyväksytty paaluhattu. Paalujen sisus betonoitiin ja vinopaalut raudoitettiin. [13,5.]

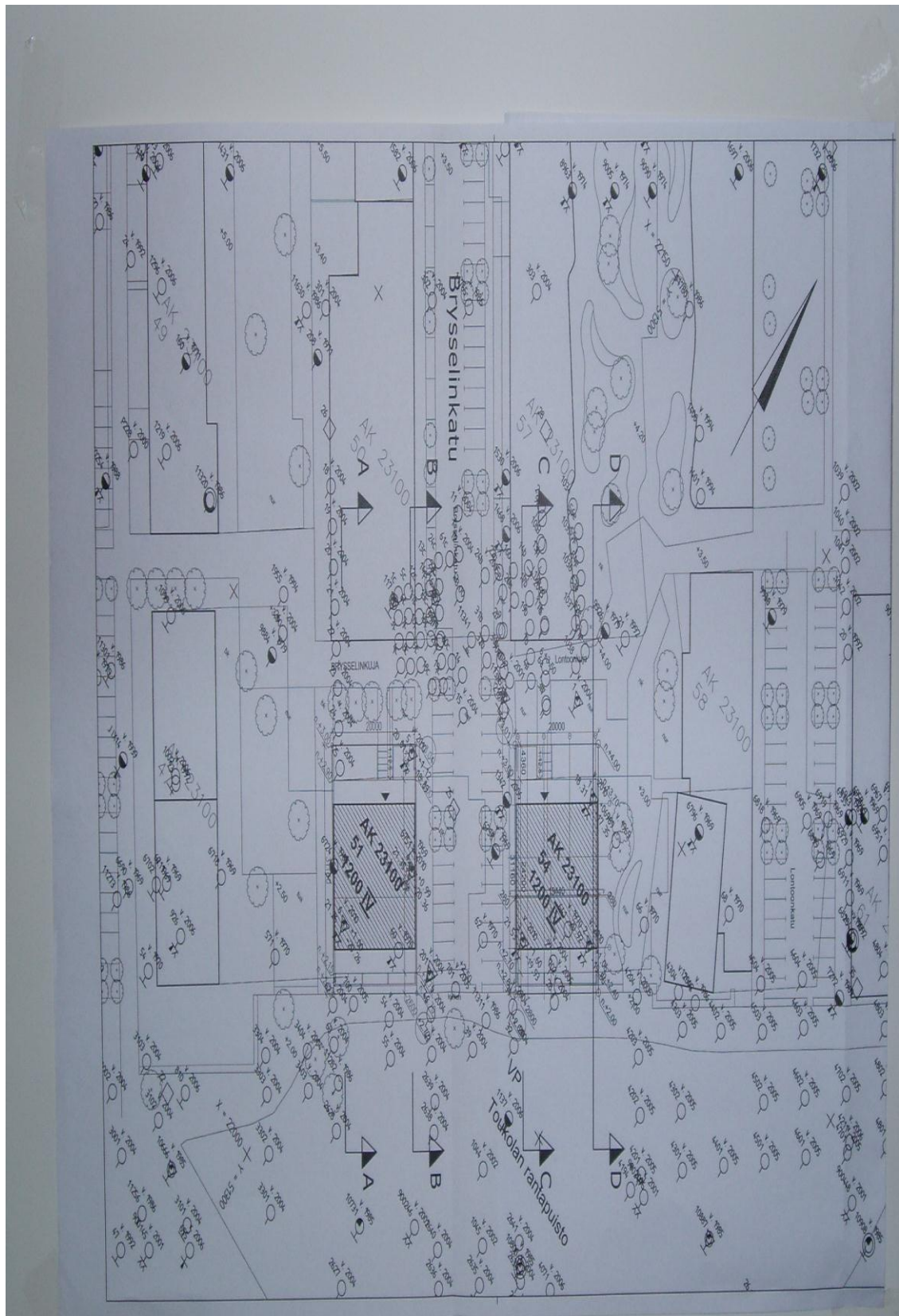
Jotta paalutuksen haittavaikutukset saatiin minimiin, kuten huokosvesipaineen nousu ja laaja-alaisten vaakasiirtymien syntyminen, kullekin paalulle tehtiin lieju- ja saviker-



rosten esireikä. Esireikä tehtiin Auger kairalla. Jotta huokosveden ylipainetta saatiin purkautumaan nopeammin, niin jokaisen paalun viereen asennettiin liejun ja saven läpiulottuvat liuskapystyöjat. Alapohjan rakentamisessa suurin huomioitava seikka oli se, että kellari sijoittui meriveden pinnan alapuolelle silloin, kun merivesi on korkealla, eikä pohjaveden pinnan laskeminen näin ollen onnistu. Alapohja rakennettiin vesi-  
tiiviinä kaukalona tasoon +2,6. Lähelle maanpintaa rakennettiin salaojitus, millä varmistettiin se, ettei tulva vesi pääse nousemaan paine-eristetyn osan yläpuolelle. Pohjalaatta valettiin maata vasten ja nosteen vaikutus huomioitiin suunnittelussa. [13,5.]



Kuva18. Kairausdiagrammi Helsingin Toukolan Kustaa



Kuva19. Pohjatutkimuspiirustus Helsinki Toukolan Kustaa



## 6 JOHTOPÄÄTOKSET JA YHTEENVETO

Esirakentamisen tarpeellisuus on viime aikoina kasvanut todella paljon, mikä johtuu siitä, että rakennuspohjaksi soveltuva maaperä on vähentynyt maassamme merkittävästi. Esimerkiksi Helsingissä 1980-luvun alusta lähtien on esirakennettu noin 150 hehtaaria huonopohjaisia maa-alueita. Esirakentamismenetelmien kehittyessä on päästy rakentamaan aikaisemmin rakentamatta jääneet huonopohjaiset maa-alueet ja on myös pystytty parantamaan pehmeikköalueiden laatua maanrakennuskeinoin. Esirakentamista pitäisi päästä aloittamaan mahdollisimman aikaisin, koska se kestää kauan. Kuitenkin suositeltava aloitus esirakentamiselle on se, kun kaupungin valtuusto on hyväksynyt asemakaavan esirakentamissuunnitelman ja kaupungin hallitus on antanut siihen luvan. [2, 87-88.]

Esirakennusmenetelmiä on todella paljon ja niistä on pystyttävä aina valitsemaan kannattavin vaihtoehto, valintaan vaikuttavat käytettävissä oleva rakennusaika, alueen pohjasuhteet, alueen tuleva käyttötarkoitus, alueelle tulevat kuormitukset sekä kustannukset. Edellä on käsitelty vaihtoehtoisia ratkaisuja, joita voidaan käyttää pohjarakentamisessa. Menetelmien valintaa harkittaessa on syytä kiinnittää erityistä huomiota käyttömahdollisuuksiin kyseisellä alueella. Pohjatutkimuksilla saadaan selvitettyä maapohjan kerrostumat, mistä selviävät, käyttökelpoiset menetelmät. Esimerkiksi esikuormituspenkereen käyttö pehmeiköllä saa vaikuttaa alueella jopa vuosia ennen kuin siitä on nähtävää hyötyä, kun taas esimerkiksi massanvaihto tai keventäminen pystytään tekemään hyvinkin nopeassa ajassa. [2, 87-88.]

Tulevaisuudessa esirakentamisen tarve varmasti kasvaa vielä suurin harppauksin, koska esimerkiksi Suomen tiheään asutut rannikkokaupungit ovat jo käyttäneet suuren osan niiden kunnollisesta maaperästä, joten on pakottava tarve alkaa siirtää yhä enemmän rakennuskantaa huonopohjaisille tonteille. Nykyisillä menetelmillä onneksi pystytään myös tehokkaasti käyttämään perusolosuhteita huonompaa maa-aluetta rakentamiseen. [2, 87-88.]

## 7 LÄHTEET

- [1] Rantamäki, M. Jääskeläinen, R. Tammirinne, M. 1979. Geotekniikka 464. 21 painos. Helsinki: Hakapaino oy.
- [2] Nauska, J. Havukainen, J. 1998. Esirakentaminen 1998. Tiedote 77/1998.
- [3] Saatavissa: <http://www.allu.net/index.php/fi/kayttokohteet/stabilointi> [Viitattu 24.1.2012].
- [4] Saatavissa:  
[http://www.lemminkaineninfra.fi/fi/Tuotteet\\_ja\\_palvelut/Yhdyskuntarakentaminen/Pohjarakentaminen/Suihkuinjektointi](http://www.lemminkaineninfra.fi/fi/Tuotteet_ja_palvelut/Yhdyskuntarakentaminen/Pohjarakentaminen/Suihkuinjektointi) [Viitattu 24.3.2012].
- [5] Saatavissa:  
[http://www.peabseicon.fi/default.asp?initid=&menutree=&toplinkname=&menuheading=&mainpage=notice/notice\\_read.asp?id=94](http://www.peabseicon.fi/default.asp?initid=&menutree=&toplinkname=&menuheading=&mainpage=notice/notice_read.asp?id=94) [Viitattu 24.3.2012].
- [6] Saatavissa: <http://www.its-vahvistus.com/fi/palvelut/erikoisurakointi/injektointi> [Viitattu 24.3.2012].
- [7] Saatavissa: <http://www.viapipe.fi/lujiteverkot.php> [Viitattu 24.3.2012].
- [8] Saatavissa:  
[http://www.meltex.fi/index.php?cPath=160\\_32&products\\_id=246&sivu=tuote&osCsid=9fdc51acf254beace1e69cc1239a923f](http://www.meltex.fi/index.php?cPath=160_32&products_id=246&sivu=tuote&osCsid=9fdc51acf254beace1e69cc1239a923f) [Viitattu 24.3.2012].
- [9] Saatavissa: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL & Suomen geoteknillinen yhdistys: RIL 223-2005, Lyöntipaalausohje 2005 (LPO-2005). Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL, 2005. 951-758-453-9. [Viitattu 8.4.2012].
- [10] Saatavissa: <http://www.betoni.com/fi/Pienrakentajalle/Paaluperustukset/> [Viitattu 8.4.2012].

[11] Saatavissa: [https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/rak-50.../Rak-50\\_2124\\_luento.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/rak-50.../Rak-50_2124_luento.pdf)  
[Viitattu 8.4.2012]

[12] Saatavissa: [alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/terasputkipaalut1999.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/terasputkipaalut1999.pdf) [Viitattu 8.4.2012].

[13] Olaste, A. 2010. BRYSSELINKATU 8, TOUKOLA, HELSINKI (K23100/T54), POHJATUTKIMUS JA POHJARAKENNESUOSITUS.

[14] Saatavissa: SFS-EN 1997-2 EUROKOODI 7: GEOTEKNINEN SUUNNITTELU. OSA 2 – Pohjatutkimus ja koestus [Viitattu 2.5.2012]

[15] Saatavissa: GEOTEKNISET TUTKIMUKSET JA MITTAUKSET-  
[Talk.tiehallinto.fi/.../2100057-v-08-geotekniset\\_tutkimukset\\_ja\\_mittaukset.pdf](http://Talk.tiehallinto.fi/.../2100057-v-08-geotekniset_tutkimukset_ja_mittaukset.pdf) [Viitattu 2.5.2012]

[16] Rantamäki, M. Tamminne, M. Pohjarakennus. Helsinki: Hakapaino oy.

[17] Saatavissa: [www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/b3.pdf](http://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/b3.pdf) [viitattu 10.5.2012]

[18] Vernerin Vulkko Kotkan autokenttien kunnossapito Diplomityö

[19] Saatavissa:  
[http://www.rakentaja.fi/tuoteinfo/TM\\_1221\\_terasbetonisetyontipaalut.htm](http://www.rakentaja.fi/tuoteinfo/TM_1221_terasbetonisetyontipaalut.htm) [Viitattu 18.4.2012]

[20] Saatavissa: <http://www.ruukki.fi/Tuotteet-ja-ratkaisut/Infrastruktuuriratkaisut/Teraspaalut> [Viitattu 18.4.2012]

Kuva 1. Saatavissa: [http://www.roadconsulting.fi/?page\\_id=18](http://www.roadconsulting.fi/?page_id=18) [Viitattu 12.1.2012]

Kuva 2. Saatavissa:  
[http://www.kolumbus.fi/jp.maakairaus/index\\_tiedostot/gm25monitoimikaira.htm](http://www.kolumbus.fi/jp.maakairaus/index_tiedostot/gm25monitoimikaira.htm) [viitattu 2.5.2012]

Kuva3. Saatavissa:

[http://www.kolumbus.fi/jp.maakairaus/index\\_tiedostot/siipikairanilconi.htm](http://www.kolumbus.fi/jp.maakairaus/index_tiedostot/siipikairanilconi.htm) [Viitattu 28.4.2012]

Kuva 4. Saatavissa: <http://www.kymennostokone.fi/Syvatiivistys.htm> [Viitattu 18.1.2012].

Kuva 5. Saatavissa: <http://www.rppoy.fi/albumi/kt51-tolsanliittymanstabilointi/738857> [Viitattu 25.1.2012].

Kuva 6. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi> [Viitattu 15.3.2012].

Kuva 7. Saatavissa: <http://www.timanttilahde.fi/kalusto/kuvia-kalustosta> [Viitattu 24.3.2012].

Kuva 8. Saatavissa: <http://www.imubetonilattiat.fi/lattioiden-erikoistyot-sinkopuhallus-hiontatyot-lattian-jyrsinta-injektoinnit> [Viitattu 24.3.2012].

Kuva 9. Saatavissa: <http://www.muottikolmio.fi/tuotteet/joco/pumpput.htm> [Viitattu 24.3.2012].

Kuva 10. Saatavissa: <http://www.viapipe.fi/lujiteverkot.php> [Viitattu 4.4.2012].

Kuva 11. Saatavissa:

[http://www.meltex.fi/index.php?cPath=160\\_32&products\\_id=246&sivu=tuote&osCsid=9fdc51acf254beace1e69cc1239a923f](http://www.meltex.fi/index.php?cPath=160_32&products_id=246&sivu=tuote&osCsid=9fdc51acf254beace1e69cc1239a923f) [Viitattu 4.4.2012].

Kuva 12. Saatavissa: <http://www.viapipe.fi/suodatinkankaat.php> [Viitattu 4.4.2012].

Kuva 13. Saatavissa: <http://www.roadex.org/index.php/e-learning/pysyva-muodonmuutos5> [Viitattu 4.4.2012].

Kuva 14. Saatavissa:

<http://www.betoni.com/harkkokasikirja/site/default.asp?cat=4&ava=16> [Viitattu 4.4.2012].

Kuva15. Saatavissa: <http://www.rakennusfuture.fi/> [Viitattu 8.4.2012].

Kuva16. Saatavissa: Juha Karvosen luentomoniste [viitattu18.4.2012]

Kuva17. Saatavissa: <http://www.kantolanpaalutus.fi/suurpaalutus.html> [Viitattu 8.4.2012].

Kuva18. Pohjatutkimuspiirustus leikkaus A-A Toukorannan asuinkerrostalot brysselinkatu7 ja 8.

Kuva19. Pohjatutkimuspiirustus pohjatutkimuskartta Toukorannan asuinkerrostalot brysselinkatu7 ja 8.